مجلّه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، بهار ۱۳۹۱

نابهنجاری‌های همدیدی منجر به یخبندان‌های فراگیر ایران

پیمان محمودی[1] ـ دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران
دکتر محمود خسروی ـ دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران
دکتر سید ابوالفضل مسعودیان ـ استاد اقلیم شناسی، دانشگاه اصفهان، ایران
دکتر بهلول علیجانی ـ استاد اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/٤/۲۰ تاریخ تصویب:۱۳۹۱/۵/۱۰

چکیده

این مطالعه نابهنجاری‌های همدیدی منجر به یخبندان‌های فراگیر ایران را با هدف بهبود قابلیت‌های پیش بینی این پدیده حدی مورد توجه قرار داده است. برای رسیدن به این هدف یخبندان‌های ایران براساس یک اصل مکانی، به سه دسته یخبندان‌های فراگیر، نیمه فراگیر و جزئی تقسیم بندی شدند. در ادامه سال‌های دارای حداکثر و حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر را که یک انحراف استاندارد بالاتر و پایین تر از میانگین بلند مدت بودند برای یک دوره ٤۳ ساله از ۱۹٦۲ تا ۲۰۰٤ مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های مرکب حداکثری یخبندان‌های فراگیر، یک نابهنجاری فشاری دو قطبی با یک مقدار مثبت در شمال شرق و یک مقدار منفی ضعیف در شمال غرب ایران بر روی کشور ترکیه را نشان می‌دهد. چنین ساختاری باعث تقویت پرفشار سیبری و گسترش زبانه غربی آن تا غرب دریای مدیترانه می‌گردد و شرایط برای استقرار یک سامانه پرفشار بر روی این دریا فراهم می‌شود که نتیجه آن، عقب راندن زبانه سامانه کم فشار موسمی سودان به عرض‌های جغرافیایی پایین تر و همچنین مهیا شدن شرایط همدیدی برای ریزش هوای سرد از عرض‌های جغرافیایی بالاتر بر روی ایران است. برای شرایط حداقلی نیز مشاهده می‌شود که کل منطقه مورد مطالعه تحت سیطره یک نابهنجاری منفی است که کانون مرکزی شدت آن بر روی ترکیه قرار گرفته است. لذا پیکربندی الگوهای فضایی این گروه نشان از تضعیف پرفشار سیبری و متعاقب آن عدم گسترش زبانه غربی آن تا دریای مدیترانه دارد که شرایط برای استقرار یک کم فشار با گردش چرخندی بر روی دریای مدیترانه فراهم می‌شود لذا تحت این شرایط و با گسترش زبانه کم فشار موسمی سودان و تزریق رطوبت از واچرخند اقیانوس هند (دریای عرب) جو ایران شرایط مرطوب تر و گرمتری را تجربه می‌کند.

کلیدواژه‌ها: یخبندان، ایران، نابهنجاری همدیدی، پرفشار سیبری، الگوهای همدید.

۱- نویسنده مسوول: ۰۹۱۸۳۸۰۳٤٦۲ Email: paymanasia@yahoo.com

مقدمه

اگرچه دماهای صفر و زیر صفر درجه سلسیوس در فصل سرد سال و در عرض‌های جغرافیایی میانه لزوماً یک پدیده حدی به شمار نمی آیند، اما ماندگاری طولانی مدت آنها در یک ناحیه وسیع و یا وقوع ناگهانی آنها در ابتدا و انتهای فصل سرما می‌تواند این دماها را به یک پدیده حدی تبدیل کنند. پدیده‌های حدی حاصل اندرکنش بین گردش‌های جوی بزرگ مقیاس و ویژگی‌های محلی مکان مورد مطالعه (ناهمواری، ارتفاع از سطح دریا و ...) هستند(مسعودیان و همکار، ۱۳۹۰: ۱۸۵–۱٦۵). با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران و ارتفاع نسبتاً بالای بیشتر مناطق آن از سطح دریا و همچنین ورود توده هواهای متفاوت به این سرزمین، وقوع سرما و یخبندان هر ساله بیشتر نقاط کشور و در بعضی سال‌ها حتی قسمت‌های جنوبی کشور را در بر می‌گیرد و خسارات زیادی را به بار می‌آورد. بنابراین شناسایی الگوهای گردشی به وجود آورنده این پدیده حدی که هدف اصلی این مقاله است می‌تواند در پیش بینی‌های دقیق تر و همچنین مدیریت کاهش خسارات ناشی از آن بسیار کمک رسان باشد.

مطالعات فراوانی در خصوص تعیین الگوهای گردشی به وجود آورنده رخدادهای فرین دمایی در سطح جهان (اسکوبار و همکار[1]، ۱۹۹۹: ۲٦۰–۲۵۳؛ اسکوبار و همکاران، ۲۰۰٤: ۸۹–٦۹؛ پیتزا و همکار[2]، ۲۰۰۵: ۲٤۱–۲۱۵؛ روستی کوچی و همکار[3]، ۱۹۹۵: ۳۰۰–۲۹۱؛ وان دن باسلر[4] و همکاران، ۲۰۰۹: ٤۳۹–٤۳۱) و ایران (لشکری، ۱۳۸۷: ۱۸–۱؛ لشکری و همکار، ۱۳۸۹: ۱۷۷–۱۵۱؛ علیجانی و همکار، ۱۳۸۷: ۱٦–۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۹–۱) انجام گرفته است. اما مطالعاتی که اختصاصاً الگوهای گردشی مرتبط با یخبندان‌ها را مورد توجه قرار داده باشند، بسیار اندک هستند. پری یرا[5] و همکاران (۱۹۹۲: ۱۱۸–۱۰۹) با تفکیک یخبندان‌ها به دو دسته یخبندان‌های تابشی و فرارفتی، منشاء همدیدی آنها را در لاس ویگاس[6] در ویراکروز[7] مکزیک مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند که منشاء یخبندان‌های فرارفتی، بادهای شمالی و یخبندان‌های تابشی عموماً بعد از بادهای شمالی و در شرایط آسمان‌های صاف رخ می‌دهند.

کاسومنوس[8] و همکاران (۱۹۹۷: ۲۵٦–۲٤۹) در یک مطالعه موردی شرایط همدیدی به وجود آورنده یخبندان‌های اواخر ماه مارس ۱۹۹٤ را در مقدونیه مرکزی یونان با استفاده از یک مدل عددی شبیه سازی نمودند. شرایط همدیدی اواخر این ماه نشان می‌دهد یک جریان ضعیف باد، ناشی از یک گردش واچرخندی و وجود یک گرادیان ضعیف فشار در منطقه

1 Escobar and Bischoff
2 Pezza and Ambrizzi
3 Rusticucci and Vargas
4 Van den Besselaar
5 Pereyra
6 Las Vigas
7 Veracruz
8 Kassomenos

باعث به وجود آمدن رخداد یخبندان در این منطقه شده است. مولر[1] و همکاران (۲۰۰۰: ۱٦۳۷–۱٦۱۹) نیز گزارش می‌دهند یخبندان‌ها در ناحیه وت پامپاس آرژانتین دارای تغییرات سال به سال زیادی هستند که بخشی از این تغییرات را می‌توان توسط تغییرات گردش جوی در طول زمان وقوع رخداد ال نینو –نوسان جنوبی توجیه کرد. همچنین رابطه بین تشدید رودبادهای جنب حاره‌ایی با افزایش فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر در جنوب مرکز آمریکای جنوبی موضوعی است که توسط مولر و همکاران(۲۰۰۵: ۱۱۲–۹۵) تایید شده است. آنها تشدید این رودباد را مرتبط به تقویت یک گرادیان فشار در منطقه به سبب افزایش در فعالیت امواج روزبای می‌دانند.

در جنوب آمریکای جنوبی برای سال‌های با حداکثر فراوانی یخبندان‌ها نیز مشخص شده است که همواره یک آنومالی فشاری دو قطبی، که مرکز آنتی سیکلونی آن در شمال و مرکز سیکلونی آن در جنوب بر روی اقیانوس آرام قرار دارد، مشاهده می‌شود. این الگو شرایط را برای ورود آنتی سیکلون‌ها به درون قاره فراهم می‌کند. اما برای سال هایی که دارای حداقل فراوانی یخبندان‌ها بوده اند، یک آنومالی مثبت در فشار سطح دریا در شرق قاره مشاهده می‌شود که این الگو باعث ورود هوای گرمتر و مرطوب تر به درون ناحیه وت پامپاس و متعاقب آن کاهش فراوانی یخبندان‌ها می‌شود (مولر، ۲۰۰۷: ۱۳۷۳–۱۳۸۷).

بر مبنای مطالعات انجام شده در گذشته در خصوص الگوهای گردشی مسبب یخبندان‌های فراگیر در جنوب مرکز آمریکای جنوبی، این سوال در ذهن مولر و آمبریزی (۲۰۰۷: ٦٤٥–٦۳۳) به وجود آمد که آیا الگوهای بزرگ مقیاس خاصی از طریق گسترش امواج رزبای بر وقوع فراوانی حداکثر این رخدادها اثر گذار هستند یا نه؟ آنها برای جواب دادن به این سوال ابتدا محدوده گسترش امواج رزبای را از طریق تعیین دامنه حداکثر و حداقل گسترش آنها تعیین نمودند. سپس مشخص کردند که در زمان وقوع یخبندان‌های فراگیر، موج برهای قطبی و جنب حاره ای قبل از ورود به قاره آمریکای جنوبی با همدیگر ترکیب می‌شوند و این ترکیب، باعث افزایش ورود پی در پی امواج سرد به منطقه مورد مطالعه می‌شوند.

اما در ایران جابجایی سیستم‌های فشار از عرض‌های جغرافیایی بالاتر و بر خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های شدید و فراگیر و جابجایی از عرض‌های پایین تر و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های ضعیف و نیمه فراگیر منتهی می‌شود، ضمن اینکه استقرار محور فرود در ساحل شرقی مدیترانه غالباً نشانه ورود موج یخبندان در همان روز به ایران و تداوم به طور متوسط ۷ روزه آن است (براتی، ۱۳۷۵: چکیده). بهیار (۱۳۸۲: ۱۲۰–۱۰۷) وجود یک سامانه پرفشار بر روی سطح زمین و یک افزایش ناگهانی ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را عامل ایجاد یخبندان شدید ۲٦ آوریل ۲۰۰۰ شهرستان شهرکرد می‌داند. همچنین ایشان میزان گرمایی را که در زمان وقوع این یخبندان از محیط گرفته شده است ۷۱ برابر میانگین دوره پنج روزه محاسبه نموده است یعنی به طور میانگین ۷۱ ساعت طول می‌کشد تا به طور طبیعی این میزان گرما جبران و دوباره به محیط وارد شود. در یک ارزیابی همدیدی از یخبندان‌های فراگیر در نیمه غربی ایران مشاهده می‌شود که در تمام روزهایی که پدیده یخبندان رخ داده است، یک سیستم کم ارتفاع در

1 Müller

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شمال دریای خزر مشاهده می‌شود، که این سیستم معمولاً با یک سیستم کم ارتفاع نسبتاً قوی در غرب خود و بر روی دریای مدیترانه همراه است. همچنین در روزهای یخبندان خطوط همدمای ۱۵- تا ۳۰- درجه سلسیوس در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از روی ایران عبور می‌کند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۱۱٦-۹۹). فتاحی و همکار (۱۳۸۸: ۱۳٦-۱۲۷) نیز با انجام تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌های روزانه، فشار سطح زمین و تراز ارتفاعی ۵۰۰ هکتوپاسکال، الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های زمستانه ایران را شناسایی نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد تیپ‌های هوای پرفشار اروپای شمالی، پرفشار سیبری و پرفشار اروپای شرقی بیشترین تاثیر را در رخداد یخبندان‌های شدید و فراگیر ایران داشته اند؛ به طوری‌که این تیپ‌های هوا جریانات سرد قطبی را از عرض‌های جغرافیایی بالا به سوی عرض‌های پایین منتقل کرده و به دنبال آن یخبندان‌های شدید و فراگیر را به وجود می‌آورند.

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات قبلی، می‌توانیم یخبندان‌ها را به سه گروه دسته بندی کنیم: ۱ـ یخبندان‌های فراگیر؛ ۲ـ دوم یخبندان‌های نیمه فراگیر؛ ۳ـ یخبندان‌های جزئی. هدف این تحقیق، بررسی مشخصات و ویژگی‌های میانگین سالانه، فصلی و ماهانه الگوهای گردش جوی مرتبط با وقوع حداقل و حداکثر فراوانی یخبندان‌های فراگیر ایران است. این تجزیه و تحلیل‌ها در جهت شناخت مکانیسم‌های فیزیکی به وجود آورنده یخبندان‌های گروه اول، یعنی یخبندان‌های فراگیر، بسیار می‌تواند کمک رسان باشد. در نهایت نتایج به دست آمده از هر دو گروه (یعنی حداقل و حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر) با یکدیگر مقایسه می‌شوند. از این راه الگوهای مختلف گردش آتمسفری که باعث ایجاد یخبندان‌های فراگیر می‌شوند شناسایی می‌گردند. نتایج حاصل از این مطالعه این امکان را جهت تشخیص انواع مختلف یخبندان‌ها در ایران را فراهم می‌کند. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه کمک شایانی در بهبود پیش بینی‌های این رخداد و کاهش اثرات منفی آن خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

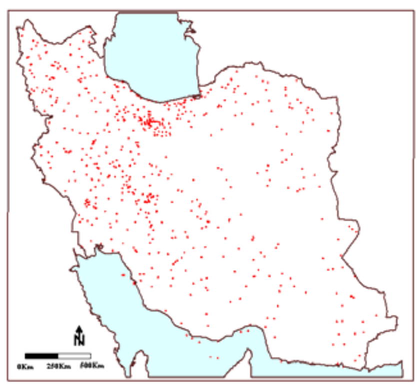
در این پژوهش جهت شناسایی نابهنجاری‌های همدید مرتبط با یخبندان‌های فراگیر ایران به دو پایگاه داده نیاز است: یکی پایگاه داده‌های جوی، که چگونگی جریان‌های جوی را مشخص می‌کند و دیگری پایگاه داده‌های رویداد سطحی. داده‌های سطحی مورد بررسی در این پژوهش شامل تمامی اندازه گیری‌های دمای حداقل روزانه ٦٦۳ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم شناسی کشور با دوره آماری ٤۳ ساله (۲۰۰٤-۱۹٦۲) برای ماه‌های اکتبر تا آوریل است که از سازمان هواشناسی ایران اخذ شد. داده‌های جوی لازم برای این پژوهش نیز از پایگاه داده‌های مرکز ملی پیش بینی محیطی-مرکز ملی پژوهش‌های جوی NCEP/NCAR[1] برداشت شد. این داده‌ها در تارنمای (www.cdc.noaa.gov) در دسترس هستند.

1 National Center Environmental Prediction – National Climatic American Research

پس از آماده کردن پایگاه داده ای دمای حداقل کشور، نقشه‌های همدمای کشور از ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ به مدت ۹۱۱۶ روز به روش کریگینگ میانیابی شد. لازم به اشاره است که تعداد ایستگاه‌ها در هرکدام از سال‌های مورد مطالعه متفاوت بوده است؛ به طوری‌که تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم شناسی در سال ۱۹۶۲، ۱۲۲ ایستگاه (شکل ۱) و در سال ۲۰۰۴، ٦٦٣ ایستگاه (شکل ۲) بوده است.



شکل ۱ موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های همدید و اقلیمی مورد مطالعه در سال ۱۹۶۲ (تعداد ۱۲۲ ایستگاه)



شکل ۲ موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های همدید و اقلیمی مورد مطالعه در سال ۲۰۰٤ (تعداد ٦۲۳ ایستگاه)

در ادامه یخبندان‌ها (یعنی آن روزهایی که درجه حرارت مساوی یا کمتر از صفر درجه سلسیوس است) به سه گروه تقسیم می‌شوند: یخبندان‌های جزئی، یخبندان‌های نیمه فراگیر و یخبندان‌های فراگیر. بر اساس معیارهای تعریف شده زیر، هر روز در یکی از گروه‌های سه گانه بالا به شرح ذیل طبقه بندی شدند:

- یخبندان‌های جزئی: یخبندان هائی هستند که درصد مساحت همراه با یخبندان برابر یا کمتر از ۲۵ درصد کل مساحت ایران باشند.
- یخبندان‌های نیمه فراگیر: یخبندان هایی هستند که میزان مساحت دارای یخبندان ۲۵ تا ٦۵ درصد کل مساحت ایران را شامل شوند.
- یخبندان‌های فراگیر: یخبندان هایی هستند که حدود ٦۵ درصد و بیشتر مساحت در ایران یخبندان را تجربه کرده باشند.

در ادامه، فرین‌های فراوانی روزهای وقوع یخبندان‌ها به طور جداگانه برای گروه یخبندان‌های فراگیر که یک واحد انحراف معیارپائین تر $(-\sigma)$ و یا بالاتر $(+\sigma)$ از میانگین بلندمدت دوره ۲۰۰٤-۱۹۶۲ هستند، انتخاب می‌گردند. جدول شماره ۱ سال هایی را که با حداکثر $(+\sigma)$ و حداقل $(-\sigma)$ وقوع روزهای یخبندان در دوره‌های مختلف انتخاب شده مطابقت دارند، نشان می‌دهد. مشخصات دوره‌های مستقل انتخاب شده به شرح زیر هستند:

- سالانه (از اکتبر تا آوریل)
- فصلی (پاییز [اکتبر و نوامبر]، زمستان [دسامبر، ژانویه و فوریه] و بهار [مارس و آوریل])
- و ماهانه.

جدول ۱ سال‌های با فراوانی وقوع پدیده حدی یخبندان‌های فراگیر برای دوره‌های مورد مطالعه

آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	بهار	زمستان	پاییز	سالانه	
١٩٦٥ ١٩٦٧ ١٩٨١ ١٩٩٧	١٩٦٧ ١٩٧٦ ١٩٨٢ ١٩٨٣ ١٩٨٥ ١٩٨٦ ١٩٩٠ ١٩٩٢ ١٩٩٧ ٢٠٠٠	١٩٧٢ ١٩٧٤ ١٩٧٧ ١٩٨٢ ١٩٨٤ ١٩٨٩		١٩٦٤ ١٩٦٥ ١٩٧٢ ١٩٧٣ ١٩٧٤ ١٩٧٥ ١٩٨٢ ١٩٨٤	١٩٦٢ ١٩٦٩ ١٩٧٣ ١٩٧٥ ١٩٧٦ ١٩٧٨ ١٩٧٩ ١٩٨٢ ١٩٨٨	١٩٨٤	١٩٦٧ ١٩٧٦ ١٩٨٢ ١٩٨٣ ١٩٨٥ ١٩٨٦ ١٩٩٠ ١٩٩٢ ١٩٩٧ ٢٠٠٠	(٧٣–٧٤) (٧٦–٧٧) (٧٩–٨٠) (٨١–٨٢) (٨٢–٨٣)	١٩٦٢ ١٩٦٩ ١٩٧٣ ١٩٧٥ ١٩٧٦ ١٩٧٨ ١٩٧٩ ١٩٨٢ ١٩٨٨	(٦٤–٦٥) (٦٦–٦٧) (٧٣–٧٤) (٧٦–٧٥) (٨٠–٧٩) (٨١–٨٢) (٨٢–٨٣)	$(+\sigma)$
	١٩٦٤ ١٩٦٩ ١٩٧٧ ١٩٧٨ ١٩٨٤ ١٩٩٤ ١٩٩٦	١٩٦٢ ١٩٦٣ ١٩٦٦ ١٩٧٠ ١٩٩٩ ٢٠٠٣ ٢٠٠٤	١٩٦٣ ١٩٦٦ ١٩٧٦ ١٩٨٥ ١٩٩٤ ١٩٩٩ ٢٠٠٢ ٢٠٠٤	١٩٦٨ ١٩٧٨ ١٩٩١ ١٩٩٨ ٢٠٠٠ ٢٠٠١	١٩٦٨ ١٩٧٠ ١٩٧١ ١٩٨٠ ١٩٨٣ ١٩٨٤ ١٩٨٥ ١٩٩٤ ١٩٩٨		١٩٦٤ ١٩٦٩ ١٩٧٧ ١٩٧٨ ١٩٨٤ ١٩٩٤ ١٩٩٦	(٦٢–٦٣) (٦٥–٦٦) (٧٨–٧٩) (٩٨–٩٩) (٢٠٠١–٢٠٠٢) (٢٠٠٣–٢٠٠٤)	١٩٦٨ ١٩٧٠ ١٩٧١ ١٩٨٠ ١٩٨٣ ١٩٨٥ ١٩٩٤ ١٩٩٨	(٦٥–٦٦) (٩٨–٩٩) (٢٠٠٠–٢٠٠١) (٢٠٠١–٢٠٠٢) (٢٠٠٣–٢٠٠٤)	$(-\sigma)$

با مشخص شدن دو گروه از یخبندان‌های دارای حداکثر و حداقل فراوانی، نقشه‌های مرکبی از متغییرهای گوناگون هواشناسی، که با شرایط تعریف شده برای هر گروه مطابقت داشت، فراهم گردید. متغیرهای مورد استفاده جهت تشریح نابهنجاری‌های استخراج شده عبارتند از: فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح بالا و پایین، دمای سطح زمین، رطوبت در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، بردار باد در سطح ۸۵۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال، به انضمام باد مداری و نصف النهاری در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال. نابهنجاری‌ها ــ همان گونه که گفته شد ــ با توجه به دوره اقلیم شناسی (۲۰۰٤–۱۹۶۲) برای هر سه زیر دوره سالانه، فصلی و ماهانه استخراج گردیدند. داده‌های مورد استفاده در این قسمت، داده‌های دوباره تحلیل شده مرکز پیش بینی زیست محیطی (NCEP) با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ ×۲/۵ درجه است.

بحث و نتایج

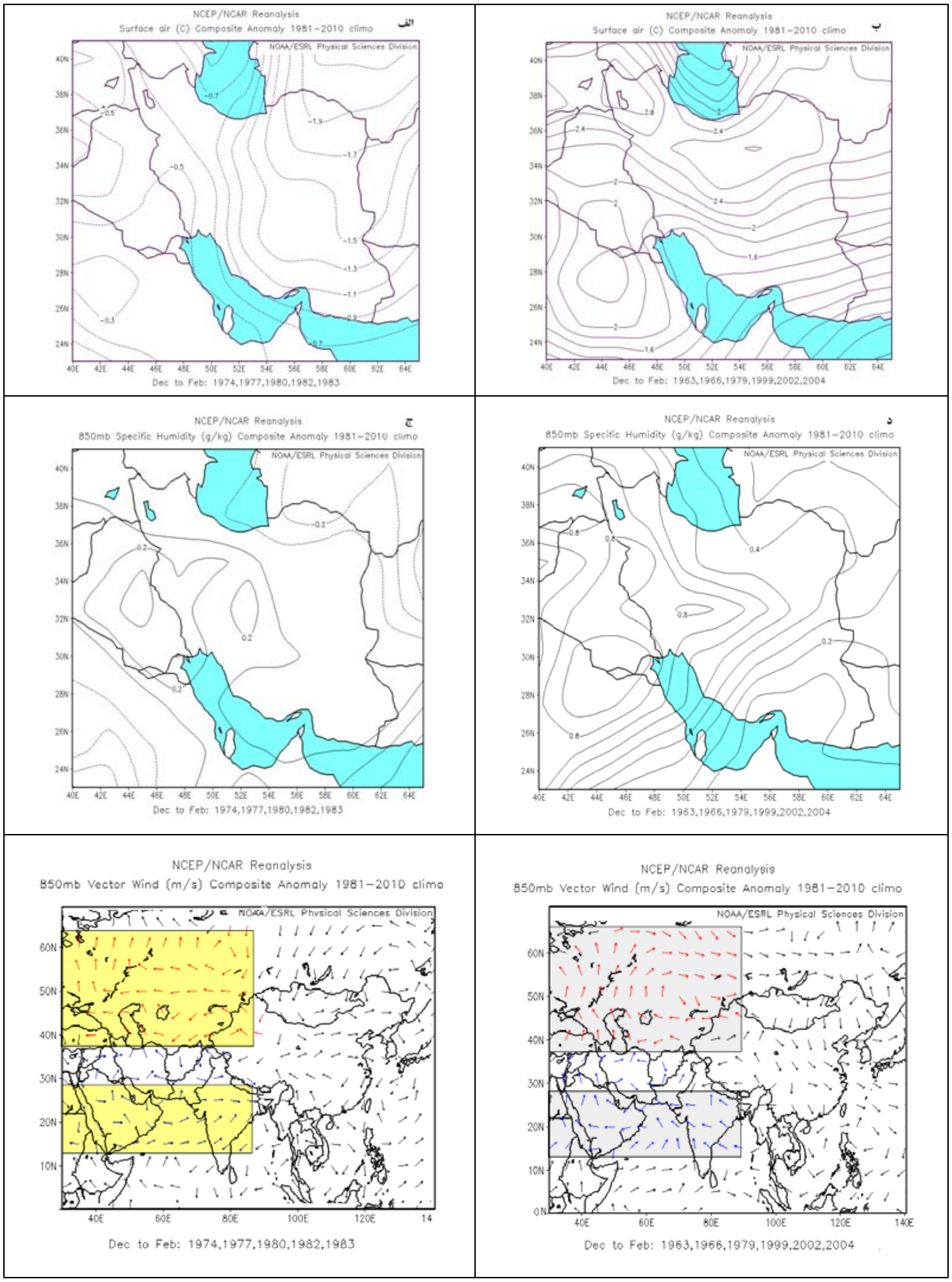
زمانی‌که نقشه‌های مرکب هرکدام از سال‌های دارای حداقل $(\sigma-)$ و حداکثر $(\sigma+)$ فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر تهیه شد (جدول ۱) مشاهده گردید رفتارهای متضادی در رفتار متغیرهای مورد مطالعه در هر کدام از فرین‌های حداقل و حداکثر در بسیاری از دوره‌های تحلیل شده وجود دارد. در این مورد، نقشه‌های مرکبِ نابهنجاری‌های دمایی سطح زمین در زمان وقوع یخبندان‌های فرین فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) در شکل ۳ (الف) و (ب) با مقادیر منفی برای حداکثر فراوانی روزهای دارای یخبندان $(\sigma+)$ و مقادیر مثبت برای حداقل فراوانی روزهای دارای یخبندان $(\sigma-)$ نشان داده شده است. همان طور که انتظار می‌رفت در مقایسه نقشه‌های مرکب فصل زمستان با نقشه‌های

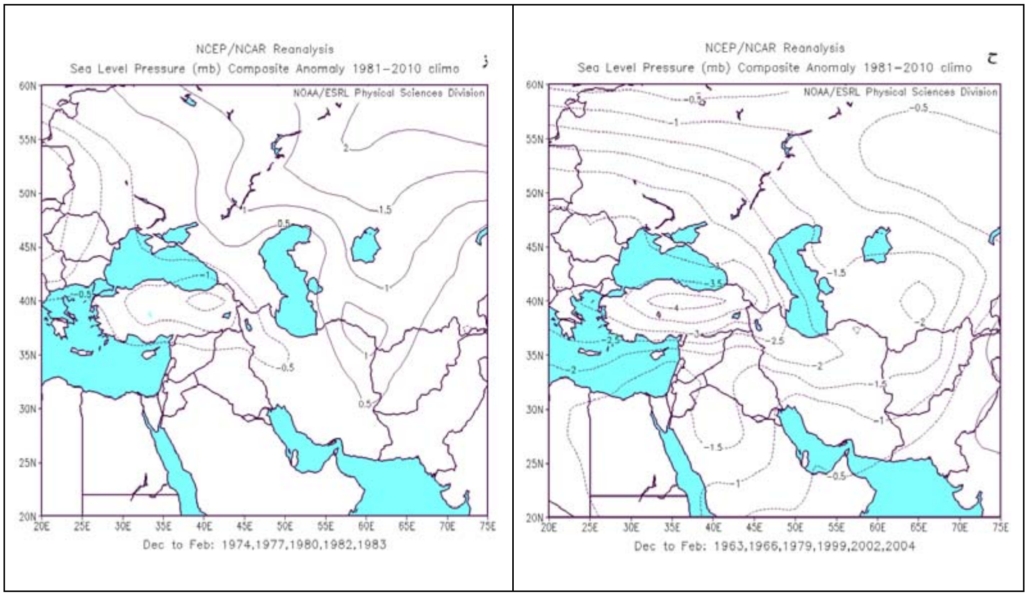
به دست آمده برای فصل پاییز، فصل بهار و سالانه مشاهده شد که مشابهت‌های زیادی بین آنها وجود دارد. همچنین یـک رابطه مشابه برای نابهنجاری‌های رطوبتی، همان‌طور که در شکل شماره ۳ (ج) و (د) نشان داده شده است، وجود دارد.

همچنین با ملاحظه نقشه‌های مرکب نابهنجاری باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در طول زمسـتان‌هـای دارای حـداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر (شکل ۳ (ه)) مشاهده شد که یـک نابهنجـاری در الگوهـای گردشـی روی اقیانوس هند (دریای عرب) و همچنین یک نابهنجاری در الگوهای گردشی واقع بر روی دریـای مدیترانـه قابـل مشـاهده است. همین نابهنجاری‌ها برای زمستان‌های دارای حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر نیز قابـل مشـاهده است، اما تقریباً با وضعیتی بر عکس وضعیت مشاهده شده برای الگوهای با حداکثر یخبندان‌هـای فراگیـر (شـکل ۳ (و)). دوره‌های سالانه و دو فصل بهار و پاییز نیز ویژگی‌های بسیار مشابهی با فصل زمستان نشان دادند که علت آن را می‌توان در مشابه بودن سال‌های انتخاب شده جستجو نمود(جدول ۱). به همین علت از آوردن نقشه‌های مرکب سـالانه و دو فصـل بهار و پاییز خودداری شده است.

فشار اتمسفری سطح دریا نیز در سال‌های با حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌هـای فراگیـر $(+\sigma)$ بـا یـک الگوی دوقطبی، با حداکثر نابهنجاری مثبت در شمال شرق ایران در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۵۵ درجه شمالی و یک حداقل نابهنجاری منفی در شمال غرب ایران در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۳۵ تا ٤۰ درجه شمالی مشـخص می‌شود (شکل ۳ (ز)). مقایسه نقشه‌های مرکب الگوهای سالانه و فصلی (پاییز و بهار) با الگوهای فصل زمستان حـاکی از وجود همان الگوها، اما با فراوانی و گسترش مکانی کمتری نسبت به الگوهای فشار فصل زمستان است. از طـرف دیگـر، برای سال‌هایی با حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر $(-\sigma)$ (شکل ۳ (ح))، شاهد یک نابهنجاری منفی بسیار قوی در شمال غرب ایران با مرکزیت آن بر روی ترکیه هستیم، که تمام ایران را حتی تا جنوب شرق آن در برگرفتـه است. این الگوها، تفاوت بین فرین‌های حداقل و حداکثر روزهای یخبندان فراگیر در ایران را از لحـاظ همدیـدی تشـریح می‌کند، بنابراین، اگر سامانه پرفشاری که در شمال شرق ایران مستقر شده است، تقویت شود به دلیل فراهم شـدن شـرایط ورود این سیستم‌ها به داخل ایران، شاهد افزایش تعداد روزهای یخبندان‌های فراگیر در ایران هستیم. الگوی همدیـدی بـه دست آمده با موقعیت آنتی سیکلون‌های به وجود آورنده سرماهای فرین ایران مطابقت دارد. این الگوها توسط مسعودیان و دارند (۱۳۹۰: ۱۸۵-١٦٥) که با استفاده از یک طبقه بندی اقلیمی-سینوپتیکی، الگوهای گردش اتمسفری سرماهای فرین ایران را (که روزهای با شرایط یخبندان‌های گروه فراگیر را نیز شامل می‌شد) استخراج نموده بودند، مطابقت دارد. از این گذشته، فرین‌های حداقل، زمانی رخ می‌دهند که یک نابهنجاری منفی قوی بر روی ترکیه در شمال غرب ایران و یـک نابهنجـاری منفی ضعیف در شمال شرق ایران مستقر گردد. در این شرایط، شاهد کاهش شدت کانون مرکزی پرفشار سیبری در شمال شرق ایران و در نتیجه، کاهش گستردگی نفوذ زبانه‌های این پرفشار به داخل ایران هستیم. در شمال غرب نیز شاهد کاهش فشار سیستم‌های پرفشار هستیم. بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات براتی (۱۳۷۵: ۲۱۳-۱) جابجایی سیستم‌ها از عرض‌های

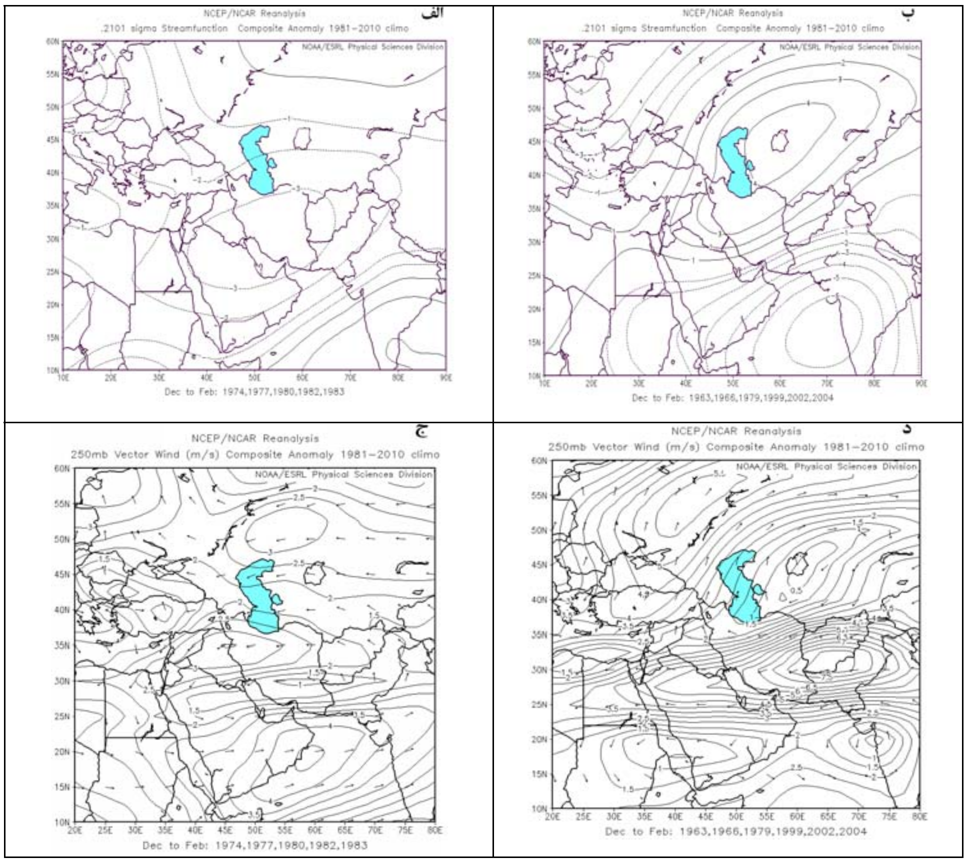
جغرافیایی پایین تر و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های ضـعیف و نیمـه فراگیـر منتهـی مـی‌شـود. ایـن سیستم‌ها دارای برودت کمتر و در نتیجه مانع افزایش یخبندان‌های فراگیر گسترده بر روی کشور می‌شوند.





شکل ۳ نابهنجاری‌های دمای سطحی ($^{\circ}C$) (الف)-(ب)، رطوبت ویژه ($g\,Kg^{-1}$) در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (ج)-(د)، باد برداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (ه)-(و)، فشار سطح دریا (hPa) (ز)-(ح)، برای نقشه‌های مرکب یخبندان‌های فراگیربرای دوره زمستان $\sigma+$ (سمت چپ) و زمستان $\sigma-$ (سمت راست). خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

برای هر دوی حداکثر ($\sigma+$) و حداقل ($\sigma-$) فراوانی وقوع روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر، نقشه‌های مرکب سطوح فوقانی منطبق بر دوره‌های سالانه و فصلی ترسیم گردیدند. این نقشه‌ها نیز همچون نقشه‌های مرکب تهیه شده در قبل، پیکربندی‌های مختلفی را برای فصل زمستان نشان می‌دهد. چنانکه در شکل شماره ٤ (الف) مشاهده می‌شود، یک نابهنجاری منفی از تابع جریان سرتاسر ایران را در سطوح فوقانی در برگرفته است که این نابهنجاری باعث ایجاد گردش سیکلونی در سطوح فوقانی و متعاقب آن کاهش سرعت رودباد بر روی ایران می‌گردد. این نابهنجاری در کاهش سرعت رودباد و همچنین جهت وزش باد در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال به طور مشخص در شکل شماره ٤ (ج) قابل مشاهده است. اما در زمستان‌های با حداقل فراوانی روزهای یخبندان ($\sigma-$)، یک نابهنجاری مثبت از تابع جریان در نیمه شمالی ایران و یک نابهنجاری منفی در نیمه انتهایی جنوب ایران قابل مشاهده است (شکل ٤ (ب))؛ بنابراین، در نیمه شمالی ایران یک نابهنجاری آنتی سیکلونی و در نیمه جنوبی آن یک نابهنجاری سیکلونی حاکم است که نتیجه آن تقویت و تشدید رودباد در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال بر روی ایران است (شکل ٤ (د)).

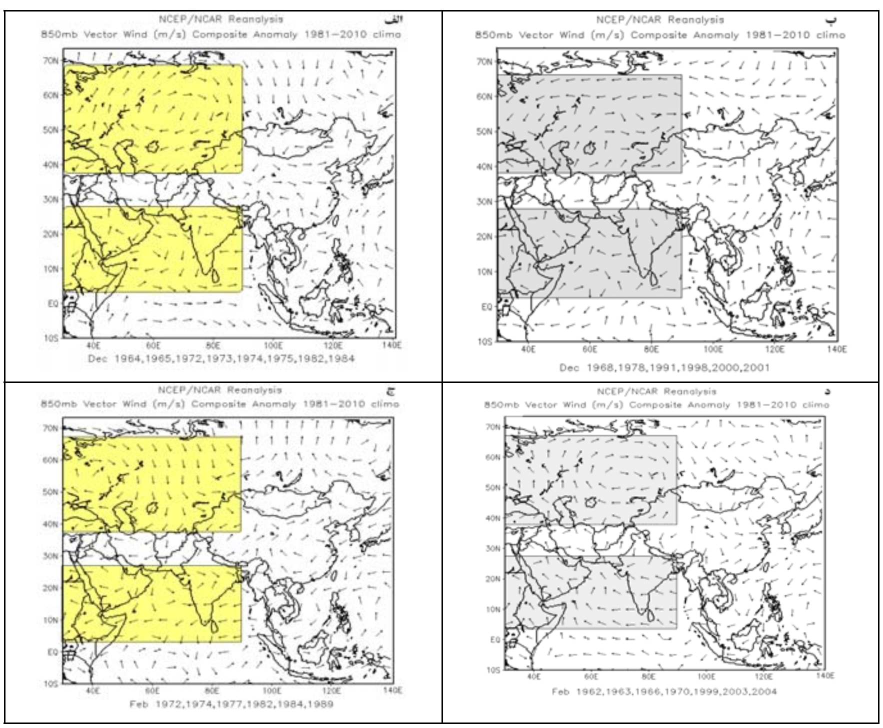


شکل ٤ نابهنجاری‌های تابع جریان ($\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (الف)-(ب)، و باد برداری و مؤلفه مداری (ms^{-1}) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال(ج)-(د)، برای نقشه‌های مرکب گروه یخبندان‌های فراگیر برای فصل زمستان $+\sigma$ (سمت چپ) و فصل زمستان $-\sigma$ (سمت راست). خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

در تحلیل‌های ماهانه میانگین گردش آتمسفری نیز ابتدا برای هر کدام از ماه‌های مورد مطالعه، دو پارامتر دمای هوا و رطوبت ویژه مورد بررسی قرار گرفتند. در مورد دمای هوا، الگوهای ماهانه از اکتبر تا آوریل حاکی از همسان بودن الگوهای نابهنجاری این ماه‌ها با الگوهای فصل زمستان هستند (شکل شماره ۳، الف و ب). در مورد رطوبت ویژه نیز تجزیه و تحلیل‌های ماه به ماه هیچ تغییری را با فصل زمستان نشان نمی دهد؛ یعنی کل ایران برای ماه‌های با حداقل روزهای یخبندان دارای نابهنجاری مثبت و برای حداکثر روزهای یخبندان دارای نابهنجاری منفی است؛ بنابراین، از آوردن نقشه‌های مرکب آنها اجتناب گردیده است (شکل ۳، ج و د).

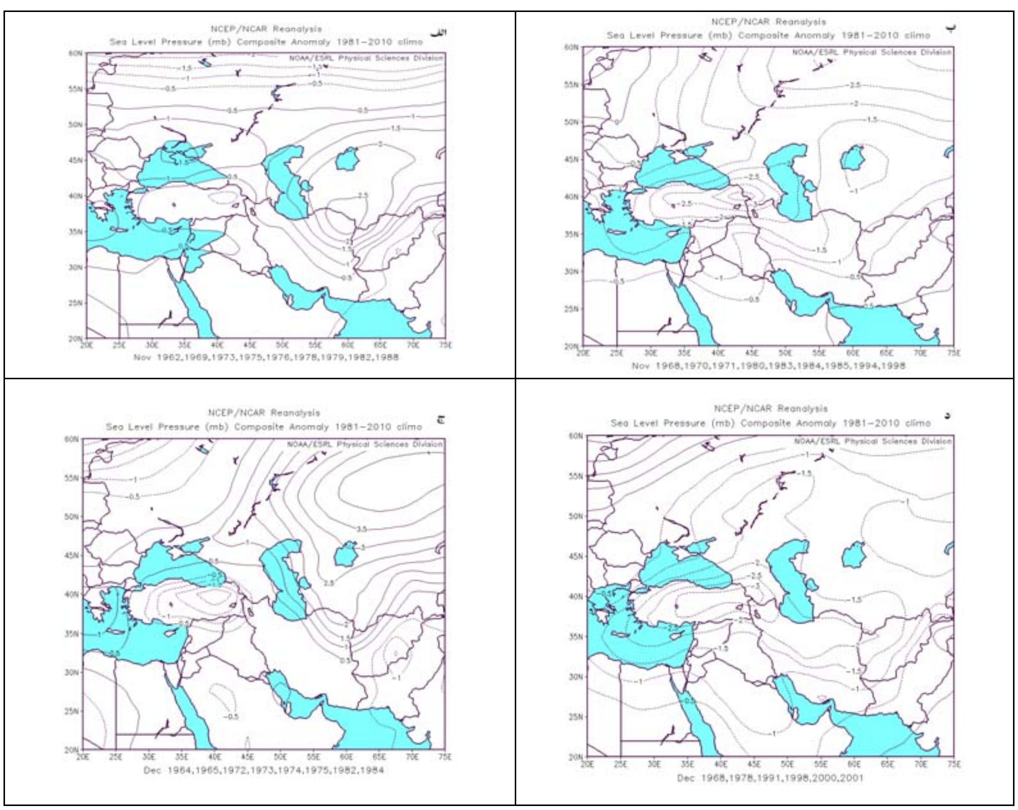
نقشه‌های مرکب ماهانه نابهنجاری‌های بردار باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال برای حداقل وقوع روزهای یخبندان $-\sigma$ (شکل ۵، قسمت راست پانل) نیز نشان می‌دهد در ماه دسامبر در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال ایران و تقریباً در حد

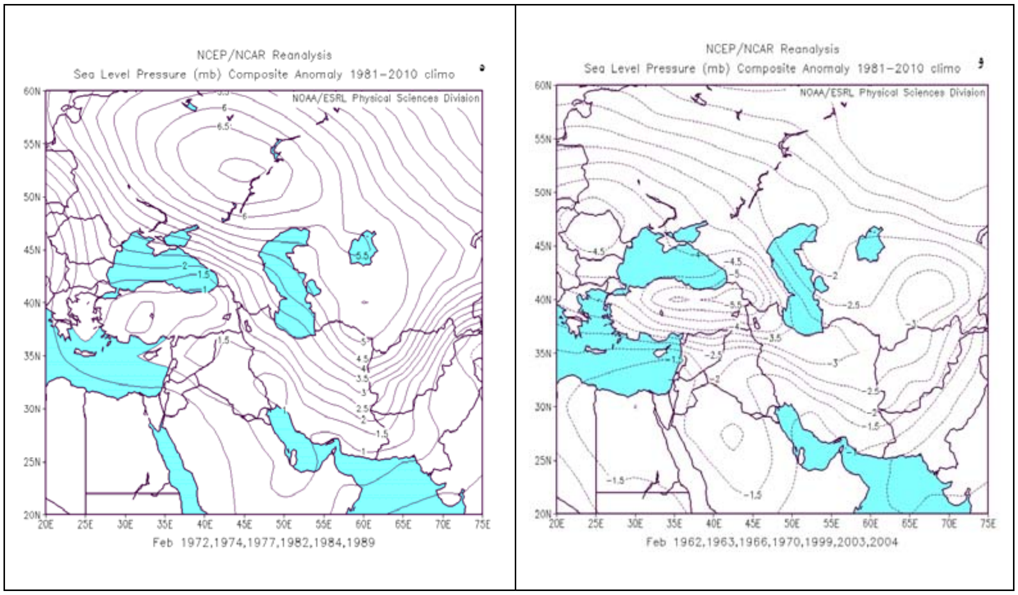
فاصل ٤٠ تا ۷۰ درجه عرض شمالی جریانات دارای یک گردش نامنظم شبه چرخندی و در جنوب ایران بر روی اقیانوس هند تقریباً در حد فاصل ۱۰ تا ۲۵ درجه عرض شمالی دارای یک گردش واچرخندی قوی هستند (شکل شماره ب ـ ۵) همچنین یک نابهنجاری چرخندی بر روی دریای مدیترانه نیز قابل مشاهده است این حاکی از نفوذ و استیلای بیشتر جریانات گرم و مرطوب جنوبی بر جریانات سرد و خشک شمالی بر روی ایران در این ماه است. در ماه فوریه نیز بردار باد با اندکی تغییرات همان جهت‌های ماه دسامبر را در قسمت شمالی و جنوبی ایران نشان می‌دهد؛ به طوری‌که در شمال ایران بردار باد دارای یک گردش واچرخندی مشخص است که هسته مرکزی این گردش در شمال شرقی ایران واقع شده است (شکل شماره د ـ ۵). در عوض، برای حداکثر وقوع روزهای یخبندان σ+(قسمت چپ پانل) یک وضعیت غیر معمول در نقشه‌های مرکب ماه دسامبر مشاهده می‌شود به طوری که جهت بردار باد در قسمت شمالی ایران دارای یک گردش واچرخندی است که این نوع گردش بر روی دریای مدیترانه نیز قابل مشاهده است. در جنوب ایران نیز یک گردش واچرخندی ضعیف و با گستردگی کم قابل مشاهده است (شکل الف ـ ۵) در ماه فوریه نیز این وضعیت غیرمعمول، اما با مقداری تفاوت مشاهده می‌شود (شکل شماره ج ـ ۵). این تفاوت در جریان‌ها باعث می‌شود نابهنجاری‌های دمایی نیز محسوس‌تر گردد. در ماه‌های ژانویه، مارس و آوریل نیز نقشه‌های مرکب با کمی تفاوت حاکی از شبیه بودن الگوهای این ماه با میانگین الگوهای فصلی زمستان می‌باشد.



شکل ۵ نابهنجاری باد برداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال برای نقشه‌های مرکب گره یخبندان‌های فراگیر σ+ (سمت چپ) و σ− (سمت راست)، دسامبر (الف)-(ب) و فوریه (ج)-(د)

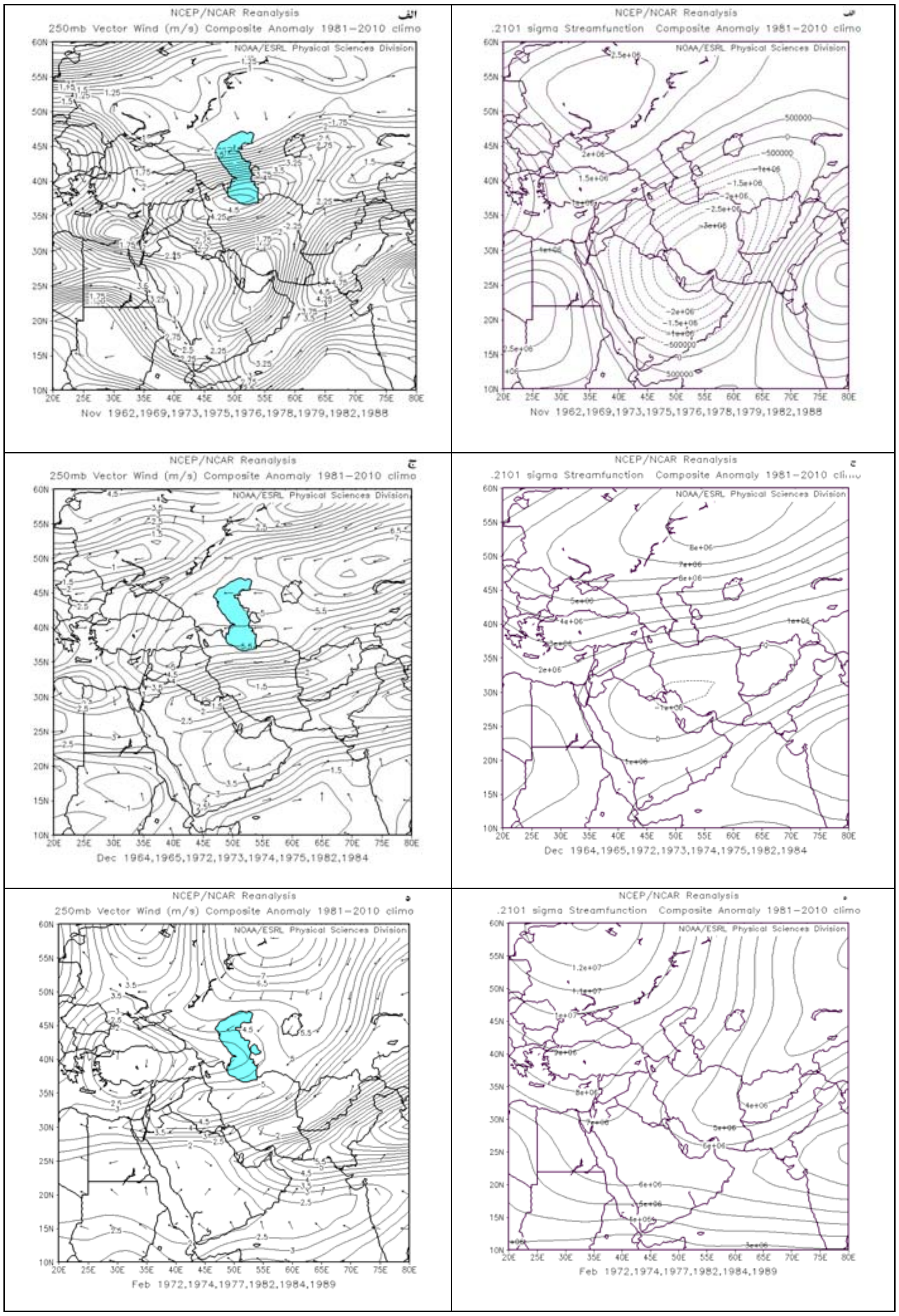
شکل ٦ نقشه‌های مرکب فشار سطح دریا را برای ماه‌های نوامبر، دسامبر و فوریه برای حداقل فراوانی روزهای یخبندان (قسمت راست پانل) نشان می‌دهند. هرچند این نقشه‌ها تفاوت هائی جزئی با یکدیگر دارند، اما در کـل، در زمـان وقـوع حداقل فراوانی روزهای یخبندان‌های فراگیر، سرتاسر ایران شاهد یک نابهنجاری منفی در فشار سطح دریـا اسـت. هسـته بیشترین نابهنجاری‌ها نیز در شمال غرب ایران است که با ناهنجاری هایی که در جهت بادر در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال ایران مشاهده گردیده بودند و پیش تر نیز تشریح شده اند، تطابق دارند. برای حداکثر وقوع روزهای یخبنـدان $\sigma +$ (قسمت چپ پانل) یک نابهنجاری مثبت در شمال شرق ایران در ماه آگوست مشاهده می‌شود که زبانـه‌ای از آن سرتاسـر مرکز ایران از شمال غرب تا جنوب شرق را در امتداد رشته کوه‌های زاگرس در برگرفته است (شکل الـف ـــ ٦)، در مـاه دسامبر نیز (شکل شماره ج ـ ٥) این نابهنجاری مثبت در شمال شرق ایران دوباره مشاهده می‌شود؛ با ایـن تفـاوت کـه در شمال غرب ایران و بر روی ترکیه یک نابهنجاری منفی از فشار سطح دریا که در ماه نوامبر به صورت یـک هسـته بسـیار کوچک وجود داشت؛ در این ماه گسترش مکانی بیشتری پیدا کـرده اسـت. امـا در مـاه فوریـه (شـکل شـماره هـــ ـ ٦) نابهنجاری‌های مثبت تقریباً سرتاسر ایران را پوشش داده اند. به طوری‌که در این ماه یک نابهنجاری آنتی سیکلونی گسـترده به سمت ایران گسترش یافته است. این الگو که با نابهنجاری‌های باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه در ارتباط است (شکل ج ـ ٥)، حکایت از ریزش جریانات سرد شمالی در طول این ماه بر روی ایران دارند.





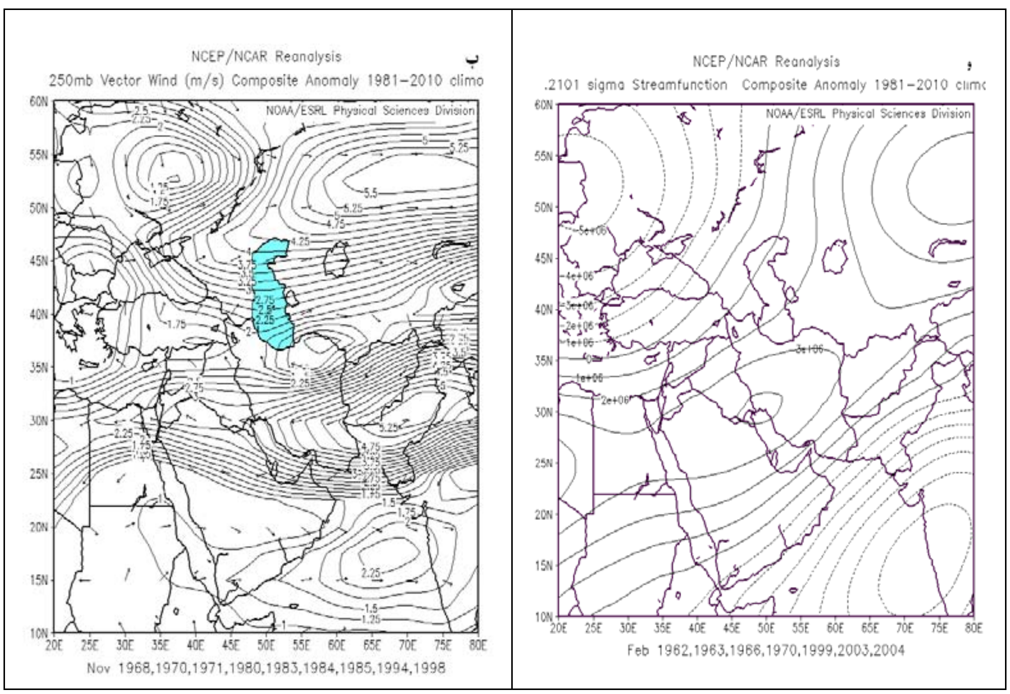
شکل ٦ نابهنجاری فشار سطح دریا (**hPa**) برای نقشه‌های مرکب گروه یخبندان‌های فراگیر σ + (سمت چپ) و σ − (سمت راست)، نوامبر (الف)-(ب) و دسامبر (ج)-(د)، فوریه (ه)-(و). خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

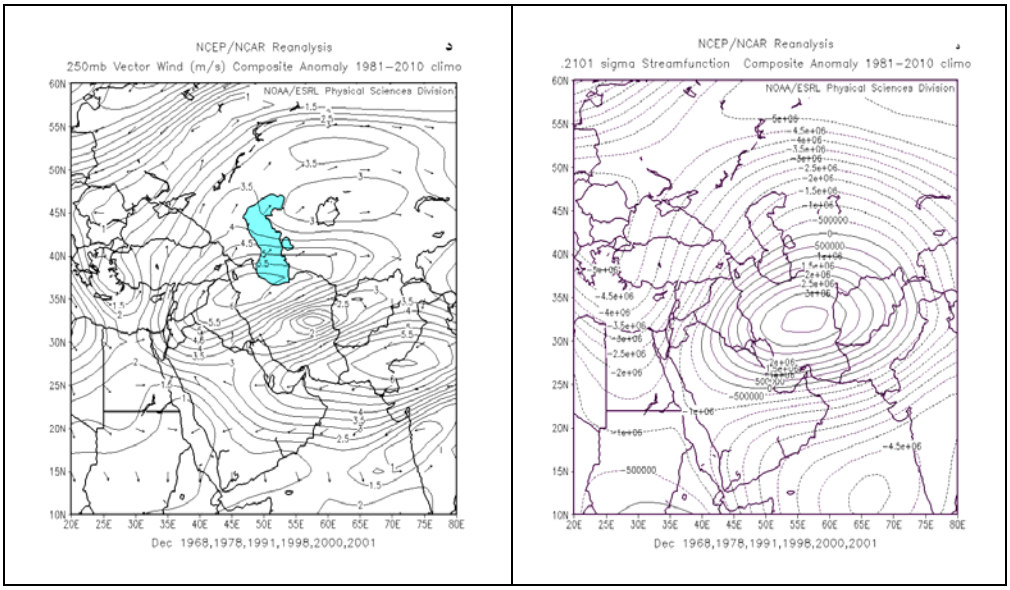
نقشه‌های مرکب نابهنجاری‌های ماهانه تابع جریان و ماهانه بردار باد در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال برای سه ماه نوامبر، دسامبر و فوریه در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. نقشه‌های مرکب تهیه شده برای ماه نوامبر با حداکثر فراوانی وقوع روزهای یخبندان فراگیر یک نابهنجاری منفی از تابع جریان را بر روی کل ایران نشان می‌دهد (شکل الف ـ ۷ سمت راست پانل) که حاکی از یک جریان چرخندی بر روی ایران دارد (شکل الف ـ ۷ سمت چپ پانل). اما در ماه دسامبر کل ایران تحت تأثیر یک نابهنجاری مثبت از تابع جریان است (شکل ج ـ۷ سمت راست پانل) که باعث ایجاد گردش واچرخندی در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال بر روی ایران می‌گردد (شکل ج ـ ۷ سمت چپ پانل). در ماه فوریه نیز همان نابهنجاری مثبت از تابع جریان بر روی ایران مشاهده می‌شود (شکل ه ـ ۷ سمت چپ پانل) که باعث گردش واچرخندی در سطوح فوقانی بر روی ایران می‌شود (شکل ه ـ ۷ سمت راست پانل). نقشه‌های مرکب تهیه شده برای دیگر سایر ماهها، گویای همان نابهنجاری‌های تک قطبی اما با شدت و ضعف‌های مختلف بر روی ایران بوده است. این نابهنجاری‌های تک قطبی از تابع جریان، باعث کاهش سرعت رودباد در سطوح فوقانی جو بر روی ایران می‌گردند. به عبارت دیگر برای ماه ها، فصول و سال‌های دارای حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر، میانگین سرعت رودباد بر روی ایران کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۷ نابهنجاری‌های تابع جریان ($\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (الف)-(ج) و (ه) سمت راست پانل، و باد برداری و مؤلفه مداری (ms^{-1}) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال(الف)-(ج) و (ه) سمت چپ پانل برای نقشه‌های مرکب گروه حداکثر یخبندان‌های فراگیر برای ماه‌های نوانبر، دسامبر و فوریه. خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

از طرف دیگر، نقشه‌های مرکب تهیه شده بـرای مـاه‌هـای دارای حـداقل فراوانـی روزهـای همـراه بـا یخبندان‌های فراگیر نشان می‌دهد که در ماه نوامبر دو نابهنجاری از تابع جریان یکی بـا علامـت مثبـت بـر روی نیمه شمالی و دیگری با علامت منفی بر روی نیمه جنوبی ایران قابل مشاهده اسـت (شـکل ب ـ ۸) سمت چپ پانل). این نابهنجاری‌هـا باعـث ایجـاد گـردش واچرخنـدی بـر روی نیمـه شـمالی و گـردش چرخندی بر روی نیمه جنوبی ایران می‌شود (شکل ب ـ ۸) سمت راست پانل). با توجه به شـکل د ـــ ۸) سمت چپ پانل مشاهده می‌شود در ماه دسامبر یک هسته نابهنجاری منفـی از تـابع جریـان کـل ایـران را فراگرفته است که این هسته نابهنجار باعث ایجاد گردش واچرخندی بر روی ایران مـی‌شـود. همچنـین در جنوب ایران و در فاصله‌ای دورتر و بر روی دریای عرب نیز یک نابهنجاری مثبت از تابع جریان مشـاهده می‌شود که این تابع جریان مثبت با یک گردش چرخندی ایجاد می‌کند(شکل د ـ ۸ سمت راست پانل). در ماه فوریه نیز همان شرایط ماه دسامبر، اما با اندکی تقاوت مشاهده می‌شود؛ یعنی یک نابهنجـاری مثبـت از تابع جریان بر روی کل ایران و یک نابهنجاری منفی از تابع جریان در جنوب آن مشاهده می‌شود (شکل و ـــ ۸ سمت چپ پانل) که بر اساس توضیحات ارائه شده در بالا این نابهنجـاری‌هـا باعـث ایجـاد یـک گـردش واچرخندی بر روی ایران و یک گردش چرخندی در جنوب آن می‌گردد (شکل و ـ ۸ سمت راست پانل). در دیگر ماه‌های مورد مطالعه نیز همین نابهنجاری‌های دو قطبی مشاهده می‌شود که این نابهنجاری‌های دو قطبی باعث افزایش سرعت رودباد بر روی ایران می‌شوند.





شکل ۸ نابهنجاری‌های تابع جریان ($\times10^{-6}m^2s^{-1}$) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (ب)-(د) و (و) سمت راست پانل، و باد برداری و مؤلفه مداری (ms^{-1}) در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال (ب)-(د) و (و) سمت چپ پانل برای نقشه‌های مرکب گروه حداقل یخبندان‌های فراگیر برای ماه‌های نوانبر، دسامبر و فوریه. خطوط پر (خط چین) مقادیر مثبت (منفی) را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

بر اساس یک معیار مکانی، یخبندان‌ها در ایران به سه دسته: یخبندان‌های فراگیر، نیمه فراگیر و جزئی تقسیم بندی شدند و سپس نابهنجاری‌های میانگین گردش عمومی جو برای سال‌ها، فصل‌ها و ماه‌هایی که دارای حداکثر و حداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر بودند، مورد بررسی قرار گرفت.

در سطوح پایینی اتمسفر برای حداکثر فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر، یک نابهنجاری فشاری دو قطبی با یک مقدار مثبت در شمال شرق و یک مقدار منفی ضعیف در شمال غرب ایران بر روی کشور ترکیه مشاهده می‌شود (این موقعیت اندکی در ماه‌های مختلف جابجا و تضعیف می‌شوند). بر اساس این نابهنجاری، پیکربندی الگوهای فضایی این گروه از یخبندان‌ها به گونه‌ای خواهد شد که شرایط برای ورود واچرخندها هم از جانب شمال شرق و هم از جانب شمال غرب به ایران فراهم می‌شود؛ به عبارت دیگر، با تقویت پرفشار سیبری و گسترش زبانه غربی آن بر روی دریای مدیترانه شرایط برای استقرار یک سامانه پرفشار بر روی این دریا فراهم می‌شود که نتیجه این استقرار، عقب راندن زبانه سامانه کم فشار موسمی سودان به عرض‌های جغرافیایی پایین تر و

همچنین مهیا شدن شرایط همدیدی برای ریزش هـوای سـرد از عـرض‌های جـغرافیـایی بـالاتر بـه سـمت نیـمه غربی ایران است. همین شرایـط، نـابهنجـاری‌های بـردار بـاد در سطـوح پاییـنی اتمسفـر را کـه در نقشـه‌هـای مرکب فصل زمستان قابـل مشـاهده است را نیـز توجیـه می‌کند؛ به طـوری‌که جهـت بـردار بـاد در قـسمت شمالی غربی ایـران دارای یـک گـردش واچـرخندی اسـت که این نوع گـردش بـر روی دریـای مدیـترانه نیز قابل مشاهده است. در جنوب ایران نیز یک گردش واچرخندی ضعیف و با گستردگی کم بر روی اقیـانوس هنـد قابـل مشـاهده است.

برای حـداقل فـراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر نیز مشاهده می‌شود که کل منطقه مورد مطالعه (۲۰ تا ۶۰ درجـه شـمالی و ۲۰ تا ۷۵ درجه شرقی)تحت سیطره یک نابهنجاری منفی است که کانون مرکزی شدت آن بر روی تـرکیه قـرار گـرفته است. از این رو پیـکربندی الگوهای فضـایی این گروه نشان از تضعیف پرفشار سـیبری و متعاقب آن عدم گسترش زبانه غربی آن تا دریای مدیترانه دارد که شرایط بـرای استقـرار یک کم فشـار بـا گـردش چرخنـدی بر روی دریـای مدیتـرانه فراهم می‌شود. این الگو با نابهنـجاری بـاد در سـطح ۸۵۰ هـکتوپاسکال نیـز هماهنگ است، بنابراین تحت این شرایط و با گسترش زبانه کم فشار موسمی سودان و تزریق رطـوبت از واچرخنـد اقیانوس هند (دریای عرب) جو ایران شرایط مرطوب تر و گرمتری را تجربه می‌کند که این امر، باعث کاهش فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر بر روی ایران می‌شود.

میدان بـاد در سطـوح بالا برای نقشـه‌های مرکـب حداکثر فـراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگـیر یـک نابهنجاری تک قطبی از تابع جریان را عموماً با علامـت مثبـت (به استثنـای ماه نوامبر) بر روی ایـران نشـان می‌دهد کـه این نابهنجـاری تک قطبـی باعـث ایجـاد گردش واچرخندی (با استثنای ماه نـوامبر) بـر روی ایـران مـی‌شـود. این نابهنجاری تضعیف رودباد جنب حاره ائی بر روی ایران نشان می‌دهـد؛ یعنـی رودبـاد روی ایران که ضعیف تـر از نرمال است با فراوانی بیشتری از وقوع یخبندان‌های فـراگیر در ایـران همـراه اسـت. امـا در دوره هـایی کـه بـا حداقل فـراوانی روزهای هـمراه با یخـبندان‌های فراگیر روبرو بوده است، مشاهـده شد که همواره نابهنجـاری‌هـای تابع جریان دو قطبی بوده است به این صـورت که بر روی ایـران گـردش واچـرخندی و در جـنوب آن گـردش چـرخندی حاکم بوده است که تحـت این شـرایط چرخـند حـنوبی هوای گرم را به عرض‌های بالاتر و واچرخـند شـمالی هوای سرد را به سـمت عرض‌های پایین تر انتقال می‌دادند که در محل تلاقی این دو گردش سرعت رودباد افزایش پیدا می‌کند. بنابراین برای دوره‌های دارای حـداقل فراوانی روزهای همراه با یخبندان فراگیر میانگین سـرعت رودباد بر روی ایران بیشتر از دوره‌های با یخبندان‌های فراگیر حداکثر بوده است.

References

Alijani, B., and Houshyar, M. 2008. Synoptic origin of cold temperatures over the northwest of Iran. Phys. Geogr. Res. Quart. 65: 1-16. (In Persian with English Abstract)

Azizi, G.H. 2004. Synoptic assessment of spring widespread frost in the west of Iran. Modares Human Sciences 32: 99-116. (In Persian with English Abstract)

Azizi, G.H., Akbari, T., Davudi, M., and Akbari, M. 2010. A synoptic Analysis of January 2008 severs cold in Iran. Phys. Geogr. Res. Quart. 70: 1-19. (In Persian with English Abstract)

Barati, G. 1996. Designing and forecasting the patterns of spring frost days in Iran. Dissertation, Tarbiat Modarres University. (In Persian)

Behyar, M.B. 2003. Investigation reason synoptic and dynamic freezing and chilling in Charmahal & Bakhtiary Province. Geogr. Res. Quart. 69: 107-120. (In Persian with English Abstract)

Escobar, G. C. J., S. A. Bischoff., 1999. Meteorological situations associated with significant temperature falls in Buenos Aires: an application to the daily consumption of residential natural gas. Meteorological Applications, Volume 6, Issue 3, 253-260.

Escobar, G. C. J., R. H. Compagnucci, and S. A. Bischoff., 2004. Sequence patterns of 1000 hpa and 500 hpa geopotential height fields associated with cold surges in Buenos Aires. Atmosfera, Volume 017, Number 02, 69-89.

Fatahi, E., and Salehi Pak, T. 2009. A synoptic patterns analysis of winter freezing in Iran. Geography and Development 13: 127-136. (In Persian with English Abstract)

Guentchev, G. S., 2007. Changes in atmospheric circulation over Europe and the relationship to temperature extreme in Bulgaria. A dissertation submitted to Michigan State University for degree of doctor of philosophy, department of geography.

Kassomenos, P., H. A. Flocas, S. Lykoudis, and M. Petrakis. 1997. A study of frost events in areas characterized by the absence of observations. Meteorology and Atmospheric Physics, 62, pages 249-256.

Lashkari, H., 2009. Synoptical analysis of intervene coldness in Iran 2003. Phys. Geogr. Res. Quart. 66: 1-18. (In Persian with English Abstract)

Lashkari, H., and Keykhosravi, G.H. 2010. Synoptic analysis of January 8th – 15th 2006 cold wave in Iran. Spatial Planning (Modares Human Sciences 65: 151-177. (In Persian with English Abstract)

Massodiyan, S.A., and Darand, M. 2011. Synoptic analysis of extreme colds of Iran. Geography and Development 22: 165-185. (In Persian with English Abstract)

Muller, G. V. 2007. Patterns leading to extreme events in Argentina: partial and generalized frosts. International journal of climatology, 27, Pages 1373-1387.

Muller, G. V., and Ambrizzi, T. 2007. Teleconnection patterns and Rossby wave propagation associated to generalized frosts over southern South America. Climate Dynamic, 29, 633-645.

Muller, G. V., T. Ambrizzi, and M. N. Nunez. 2005. Mean atmospheric circulation leading to generalized frosts in central southern South America. Theoretical and Applied climatology, 82, pages 95-112.

Muller, G. V., M. N. Nunez., and M. E. Seluchi. 2000. Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Humeda region. International journal of climatology, 20, Pages 1619-1637.

Pereyra D., B. Palma., I. Zitacuaro. 1992. Correlation between northern of Gulf of Mexico and frosts at Las Vigas, Veracruz, Mexico. Atmosfera, Volume 005, Number 002, 109-118.

Pezza AB, Ambrizzi T. 2005. Dynamical conditions and synoptic tracks associated with different types cold surges over tropical South America. International Journal of Climatology 25:215-241.

Rusticucci M, Vargas W. 1995. Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. Meteorological Applications 2:291-300.

Van den Besselaar, E. J. M., A. M. G. Klein Tank, G. van der Schrier, 2010. Influence of circulation types on temperature extremes in Europe. Theoretical and Applied Climatology, Volume 99, Numbers 3-4, 431-439.